

2 003 P 07735 WO



①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**
⑩ **DE 42 42 557 A 1** *D4*

⑤1 Int. Cl.⁶:
G 01 C 21/18
G 01 P 15/14
G 01 C 19/04
G 01 P 15/125
G 05 D 13/00

②1 Aktenzeichen: P 42 42 557.3
②2 Anmeldetag: 16. 12. 92
④3 Offenlegungstag: 16. 10. 97

DE 42 42 557 A 1

③0 Unionspriorität:

810045 19.12.91 US

⑦1 Anmelder:

Motorola, Inc., Schaumburg, Ill., US

⑦4 Vertreter:

Grünecker, Kinkeldey, Stockmair & Schwanhäusser,
Anwaltssozietät, 80538 München

⑦2 Erfinder:

Dunn, William C., Mesa, Ariz., US

⑤4 Integriertes monolithisches Gyroskop/Beschleunigungsmesser mit logischen Schaltkreisen

⑤7 Ein Mehr-Achsen-Gyroskop, ein Ein-Achsen-Gyroskop und ein Drei-Achsen-Beschleunigungsmesser sind auf einem einzigen Halbleitersubstrat zusammen mit einem MPU ausgebildet. Die Gyroskope ermitteln Drehung um drei zueinander senkrechte Achsen, und der Beschleunigungsmesser ermittelt Beschleunigung längs der drei Achsen. Das MPU steuert und treibt die Gyroskope und Beschleunigungsmesser und liefert eine kontinuierliche Angabe der Position.

DE 42 42 557 A 1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

BUNDESDRUCKEREI 08. 97 702 042/2

21/26

Beschreibung

Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf neue und verbesserte Dreiaachsen-Bezugssysteme und/oder Trägheitsführungssysteme.

In der Vergangenheit waren Gyroskope und gyroskopische Vorrichtungen relativ schwere und teure elektromagnetische Geräte. Diese elektromagnetischen Vorrichtungen enthielten Spulen und Positionssensoren, die für relativ schnelle, kontinuierliche Drehbewegung montiert waren.

Es sind auch mikromechanische Gyros entwickelt worden, die Komponenten enthielten, die von Halbleiterverarbeitungseinrichtungen gebildet waren.

Obgleich diese Vorrichtungen relativ klein waren und Vibrationsbewegungen anstatt kontinuierlicher Drehbewegungen ausnutzten, waren sie relativ unempfindlich und außerdem schwierig herstellbar.

Im allgemeinen weisen mikromechanische Gyros eine zentrale Masse auf, die wegen der Größe des Gyros sehr klein ist und aus einem sehr schweren Material, beispielsweise Gold, bestehen muß, um überhaupt eine ausreichende Masse zur Verfügung zu stellen. Die zentrale Masse ist in einem kardanischen Rahmen gelagert, der zwei zueinander orthogonale flexible Achsen aufweist, wobei die Masse und der kardanische Rahmen im wesentlichen in einer gemeinsamen Ebene liegen. Die zentrale Masse und der innere Kardanrahmen werden um eine der erste der orthogonalen Achsen in Schwingung versetzt, und eine Rotationsbewegung um eine senkrecht zu der gemeinsamen Ebene verlaufende Achse erzeugt eine Schwingungsbewegung um die andere der orthogonalen Achsen aufgrund der Coriolis- oder Gyroskopkräfte.

Das beschriebene mikromechanische Gyro weist verschiedene Probleme auf. Insbesondere ist die zentral gelagerte Masse teuer und schwierig herzustellen. Es ist schwierig, eine ausreichend große Masse zu erreichen, die genügend Trägheit aufweist, um eine gute Empfindlichkeit des Gyros zu erzielen, und diese Konstruktion vermindert die Sensorkondensator-Empfindlichkeit wegen der Vergrößerung des Abstandes zwischen den Kondensatorplatten. Wenn die Masse innerhalb der kardanischen Aufhängung auch nur leicht versetzt ist, wird außerdem eine merkliche Empfindlichkeit auf Querbeschleunigungen hervorgerufen. Zweitens ist der Umfang der Schwingbewegung durch die Tatsache begrenzt, daß das planar aufgebaute Kardansystem benachbart einer ebenen Fläche montiert ist, und eine Vergrößerung des Abstandes zwischen dem Kardansystem und der ebenen Fläche vergrößert die Größe der Vorrichtung wesentlich, was die Empfindlichkeit aufgrund des vergrößerten Kondensatorabstandes herabsetzt und außerdem die Kosten und die Komplexität der Konstruktion vergrößert. Aufgrund des Aufbaus der Vorrichtung derart, daß die Eingangsachse senkrecht zur gemeinsamen Ebene verläuft, ist die Vorrichtung nur eine Ein-Achsen-Vorrichtung. Da die Vorrichtung somit eine Bewegung um nur eine einzige Achse ermittelt, sind zur Erfassung von Bewegungen in allen drei Richtungen drei solcher Vorrichtungen erforderlich, deren Eingangsachsen zueinander orthogonal angeordnet sind.

In dem Bestreben, die Größe und Kosten von Beschleunigungsmessern zu vermindern, hat man bereits zu Halbleiterherstellungstechniken gegriffen. So hergestellte Vorrichtungen bestehen im allgemeinen aus einer Platte aus Metall oder dergleichen, die schwenkbar an einem Träger befestigt ist. Die Platte ist parallel zur planaren Oberfläche des Trägers angeordnet und bildet mit dieser einen oder mehrere Kondensatoren. Wenn sich die Platte aufgrund einer auf sie einwirkenden Beschleunigung bewegt, ändern sich die Kapazitäten. Diese Änderung wird durch angeschlossene elektronische Schaltungen ermittelt und in ein Signal umgewandelt, das für die Beschleunigung repräsentativ ist.

Gyroskope und Beschleunigungsmesser sind in Trägheitsnavigationssystemen nützlich, um Bewegung oder Beschleunigung eines Fahrzeugs in allen Richtungen zu ermitteln. Aus dieser Information läßt sich die jeweilige Position des Fahrzeugs jederzeit bestimmen. Gyroskope und Beschleunigungsmesser, wie sie oben beschrieben sind, werden als einachsige Vorrichtungen hergestellt. Um Bewegungsinformation über alle Richtungen zu erhalten, müssen drei der bekannten Gyroskope und/oder Beschleunigungsmesser derart positioniert werden, daß ihre Sensorachsen zueinander senkrecht sind. Dies bedeutet, daß der sich ergebende Aufbau relativ groß ist, da ein oder mehrere der Gyroskope und/oder Beschleunigungsmesser im Winkel zu den anderen positioniert werden muß, und die gesamte Anordnung kann niemals als eine einzige planare Packung hergestellt werden. Da außerdem jedes Gyroskop und/oder Beschleunigungsmesser auf einem gesonderten Halbleitersubstrat aufgebaut ist, müssen die Signale zwischen den Chips übertragen werden und es ist eine bekannte Tatsache, daß erhebliche Versorgungsleistung erforderlich ist, um die Signale zu verstärken, zu puffern und zwischen den Chips zu übertragen, und es wirken Störungen auf sie ein, die die Empfindlichkeit des Systems beeinträchtigen.

Diese Probleme und viele andere werden mit einem Trägheitsführungssystem gelöst, das eine Gyroskopvorrichtung enthält, die gyroskopische Ausgänge bezüglich dreier zueinander senkrechter Achsen liefert, wobei die Vorrichtung auf einem Halbleitersubstrat ausgebildet ist und die Steuerschaltung auf demselben Halbleitersubstrat angeordnet und elektrisch mit der Gyroskopvorrichtung verbunden ist, um die Gyroskopvorrichtung zu steuern und deren Ausgänge entgegenzunehmen.

Diese Probleme werden weiterhin in einem Trägheitsführungssystem gelöst, das eine Beschleunigungssensorvorrichtung aufweist, die Beschleunigungsausgänge bezüglich dreier zueinander orthogonaler Achsen liefert, wobei die Vorrichtung auf einem Halbleitersubstrat ausgebildet ist und die Steuerschaltung auf demselben Substrat aufgebaut und elektrisch mit der Beschleunigungssensorvorrichtung verbunden ist, um diese zu steuern und deren Ausgänge entgegenzunehmen.

Die Erfindung wird nachfolgend unter Bezugnahme auf die Zeichnungen näher erläutert.

Fig. 1 ist eine Draufsicht auf ein Halbleiterchip, auf dem ein Trägheitsführungssystem in Übereinstimmung mit der vorliegenden Erfindung ausgebildet ist und ein Zwei-Achsen-Drehschwingungsgyroskop, ein monolithisches Ein-Achsen-Schwingungsgyroskop, ein Drei-Achsen-Beschleunigungsmesser und ein MPU enthält;

Fig. 2 ist eine vergrößerte Draufsicht auf das Zwei-Achsen-Drehschwingungsgyroskop von Fig. 1;

Fig. 3 bis Fig. 8 sind Schnittdarstellungen verschiedener Schritte bei der Herstellung des Zwei-Achsen-Dreh-

schwingungsgyroskops von Fig. 2;

Fig. 9 ist ein Schaltbild einer Sensor- und Steuerschaltung, die mit dem Zwei-Achsen-Gyroskop von Fig. 2 verbunden ist, dessen Funktion in dem MPU enthalten ist;

Fig. 10 ist eine vergrößerte perspektivische Darstellung des monolithischen Ein-Achsen-Schwingungsgyroskops von Fig. 1;

Fig. 11 ist eine Schnittdarstellung des Gyroskops von Fig. 10 längs der Linie 11-11;

Fig. 12 ist eine Treiberschaltung für das Gyroskop von Fig. 10;

Fig. 13 ist eine Zentrier- und Sensorschaltung für das Gyroskop von Fig. 10;

Fig. 14 ist eine Sensor- und Steuerschaltung für das Gyroskop von Fig. 10, deren Funktion in dem MPU enthalten ist,

Fig. 15 zeigt Signalverläufe an verschiedenen Punkten in der Schaltung von Fig. 14;

Fig. 16 ist eine vereinfachte Schnittdarstellung des Drei-Achsen-Beschleunigungsmessers von Fig. 1, woraus die Verhältnisse der verschiedenen Komponenten zueinander hervorgeht;

Fig. 17 ist eine vergrößerte Draufsicht auf den Drei-Achsen-Beschleunigungsmesser von Fig. 15;

Fig. 18 ist eine stark vergrößerte Draufsicht auf einen Teil des in Fig. 15 dargestellten Beschleunigungsmessers;

Fig. 19 ist eine Schaltung der Sensorvorrichtung des Beschleunigungsmessers nach Fig. 15;

Fig. 20 ist eine Treiberschaltung für den Beschleunigungsmesser nach Fig. 15 mit einer Sensorvorrichtung von Fig. 19, deren Funktion in dem MPU enthalten ist, und

Fig. 21 ist eine vergrößerte Schnittdarstellung des Gyroskops, das zur Ermittlung von Corioliskräften um drei zueinander orthogonale Achsen angeordnet ist, sowie eines Drei-Achsen-Beschleunigungsmessers, der in zugeordnete Elektronik gemäß der vorliegenden Erfindung integriert ist.

Fig. 1 zeigt eine Draufsicht auf ein Halbleiterchip 20, auf dem ein Trägheitsführungssystem 22 gemäß der vorliegenden Erfindung ausgebildet ist. Das Trägheitsführungssystem 22 enthält ein Zwei-Achsen-Gyroskop 24, ein Ein-Achsen-Gyroskop 26, einen Drei-Achsen-Beschleunigungsmesser 28, eine Temperatursensorschaltung 29 und ein MPU 30. Es versteht sich, daß die beiden Gyroskope 24 und 26 und der Beschleunigungsmesser 28 eine Seitenlänge von etwa 1 mm aufweisen. Das MPU 30 ist auf einer Seite etwa 4,6 mm, so daß die dargestellte Ansicht als die vorteilhafteste erscheint, obgleich verschiedene Konfigurationen möglich sind.

Das Zwei-Achsen-Gyroskop 24 ist vergrößert in Draufsicht in Fig. 2 dargestellt. Es enthält einen im wesentlichen scheibenförmigen Rotor 32 mit einer zentralen Öffnung. Ein zentral angeordneter Montagepfosten 35 ist an einer planaren Fläche des Substrats 20 senkrecht dazu angebracht. Der Rotor 32 ist an dem Pfosten 35 mit mehreren, im speziellen Beispiel zwei Spiralfedern 42A und 42B drehbar befestigt. Jede der Spiralfedern 42A und 42B ist mit ihrem einen Ende fest an dem Pfosten 35 und mit dem anderen Ende fest am inneren Rand des Rotors 32 angebracht. Die Spiralfedern 42A und 42B dienen dazu, den Rotor 32 in einer zur planaren Fläche des Substrats 20 parallelen Ebene zu halten, dabei aber eine begrenzte Drehbewegung, d. h. eine Schwingbewegung um den Pfosten zuzulassen.

Mehrere Treiberelemente 45A bis 45D und 46A bis 46D sind im Abstand um den Außenrand des Rotors 32 angeordnet. Jedes der Treiberelemente 45A bis 45D und 46A bis 46D enthält kleine Platten (Finger), die benachbart zu und verschachtelt mit vergleichbaren Platten 47A bis 47D am Rotor 32 angeordnet sind. Alle der Elemente befinden sich auch in derselben Ebene wie der Rotor 32. Die Platten 45A bis 45D sind elektrisch miteinander verbunden, wie auch die Platten 46A bis 46D. Durch alternierendes Zuführen von Impulsen zu den Platten 45A bis 45D sowie 46A bis 46D erzeugt die elektrostatische Anziehung zwischen den Platten 45A bis 45D einerseits und den Platten 47A bis 47D andererseits und in gleicher Weise zwischen den Platten 46A bis 46D einerseits und 47A bis 47D andererseits eine Schwingbewegung im Rotor 32. Die Treiberelemente sind an diametral gegenüberliegenden Stellen angeordnet, um eine gleichförmige Schwingbewegung um den Pfosten hervorzurufen. Die erzeugte Schwingfrequenz ist die Resonanzfrequenz der Konstruktion und wird in der Amplitude geregelt.

Mehrere Kondensatorplatten 50A, 51A, 52A und 53A sind im Abstand über der oberen Hauptfläche des Rotors 32 angeordnet, um zusammen mit dem Rotor 32 vier Kondensatoren zu bilden. Vier in gleicher Art gestaltete Platten 50B bis 53B sind in gleicher Weise unter der Unterseite des Rotors 32 angeordnet. Die Kondensatorplatten 50B bis 53B bilden zusammen mit der gegenüberstehenden Hauptfläche des Rotors 32 vier Kondensatoren. Die von den Kondensatorplatten 50A bis 53A sowie 50B bis 53B gebildeten Kondensatoren sind Sensorkondensatoren, die dazu dienen, die Bewegung des Rotors 32 außerhalb der Drehebene zu ermitteln und den Rotor 32 wieder in die Drehebene zu bringen und dabei die auf den Rotor einwirkende Kraft zu messen.

In der in Fig. 2 dargestellten Ausführungsform wird der Rotor 32 durch die Elemente 45A bis 45D sowie 46A bis 46D um die z-Achse gedreht. Die Kondensatorplatten 50A, 50B und 51A—51B sind symmetrisch in bezug auf die x-Achse angeordnet, und die Kondensatorplatten 52A—52B sowie 53A—53B sind symmetrisch bezüglich der y-Achse angeordnet. Jede Drehbewegung des Gyroskops 24 um die x-Achse ruft aufgrund der Corioliskräfte eine Drehbewegung des Rotors 32 um die y-Achse hervor, so daß diese Bewegung durch Kapazitätsänderungen zwischen den Kondensatorplatten 50A, 50B, 51A, 51B und dem Rotor 32 ermittelt werden kann. In gleicher Weise läßt sich jede Drehbewegung des Gyroskops 24 um die y-Achse ermitteln, weil der Rotor 32 eine Bewegung um die x-Achse ausführt, die als Kapazitätsänderungen zwischen den Kondensatorplatten 52A, 52B, 53A, 53B und dem Rotor 32 ermittelt werden kann.

In Fig. 3 bis 8 sind die verschiedenen Schritte bei der Herstellung des Drehschwingungsgyroskops 24 dargestellt. Fig. 3 zeigt ein Substrat 20 mit einer planaren Oberfläche, die eine Isolierschicht, beispielsweise Siliziumnitrid trägt, auf der Kondensatorplatten 50B und 51B selektiv angeordnet sind. Die Kondensatorplatten 50B und 51B bestehen aus jedem geeigneten Leiter- oder Halbleitermaterial, wie beispielsweise Metall, hochdotiertem Polysilizium oder dergleichen. Abstandstücke 55 sind ebenfalls selektiv auf der Isolierschicht angeordnet und

bestehen aus demselben Material wie die Kondensatorplatten. Der gesamte Aufbau wird dann mit einer leicht zu ätzenden Schicht 56 bedeckt, die aus einem Material besteht, das man im allgemeinen als Opfermaterial bezeichnet. Die Schicht 56 kann ohne wesentlichen Einfluß auf die übrigen Komponenten leicht entfernt werden und besteht beispielsweise aus Phosphorsilikatglas (PSG). Die Schicht 56 wird dann selektiv geätzt, um die Abstandsstücke 56 freizulegen. Dieser Zustand ist in Fig. 4 dargestellt.

Gemäß Fig. 5 wird eine Schicht aus einem Material wie beispielsweise Polysilizium selektiv aufgebracht, um den zentralen Pfosten 35, die Spiralfedern 42A und 42B und den Rotor 32 auszubilden. Es sei angemerkt, daß die Schicht 55 über den Pfosten 35 hinaus ausgedehnt wird, so daß sie als elektrostatischer Schirm zwischen den Federn 42A und 42B und dem Substrat 20 wirken kann. Der Rotor 32 wird hoch dotiert, so daß er ausreichend leitfähig ist, um mit den oberen und unteren Kondensatorplatten Kondensatoren zu bilden. Eine weitere Schicht 58 aus einem Opfermaterial wird selektiv über dem den Rotor bedeckenden Polysilizium niedergeschlagen, wie in Fig. 6 dargestellt ist. Die Schicht 58 besteht aus demselben Material wie die Schicht 56, so daß beide gleichzeitig entfernt werden können.

Gemäß Fig. 7 wird eine Schicht 59, die aus demselben Material besteht, wie die Schichten 55, 32, 35 usw., selektiv auf dem Aufbau abgeschieden. Die Schicht 59 dient zur Ausbildung der oberen Kondensatorplatten 50A und 51A, wie in Fig. 8 dargestellt ist. Die Opfermaterialschichten 56 und 58 werden dann durch ein geeignetes Verfahren, wie beispielsweise Plasma- oder Naßätztechnik, entfernt, und das Gyroskop 24 ist fertig. Es versteht sich selbstverständlich, daß viele andere Verfahren zum Ausbilden des Gyroskops 24 eingesetzt werden können und das beschriebene Verfahren nur beispielhaft erläutert worden ist. Auch können viele andere Materialien anstelle der nur beispielhaft beschriebenen Materialien verwendet werden, solange sie in Mikrostrukturen wieder entfernt werden können. Es ist auch möglich, einen solchen Aufbau aus Silizium in Massen-Mikroabtragstechnik herzustellen, wobei Plättchenverbindungstechniken für das Zusammenfügen der oberen, unteren und der Drehplatten eingesetzt werden.

Fig. 9 zeigt eine Sensor- und Steuerschaltung, die elektrisch mit dem Gyroskop 24 von Fig. 2 verbunden ist. Wenngleich die dargestellte Schaltung hier als gesonderte Schaltung gezeigt ist, kann sie doch gewünschtenfalls auf dem Chip 22 integriert werden, so daß die hier gewählte Darstellung nur der Vereinfachung der Erläuterung und der Funktionen der Schaltung dient, die in dem MPU 30 enthalten ist.

Der zentrale Pfosten 35 und der Rotor 32 des Gyroskops 24 sind in Fig. 9 mit 35 bezeichnet, und die Sensor- und Steuersignale werden den Kondensatorplatten 50A bis 53B über die dargestellten Logikschaltungen zugeführt. Jede Kapazitätsdifferenz zwischen den Kondensatoren, die durch die Kondensatorplatten 50A und 50B erzeugt wird, führt zu einer Veränderung an der Verbindungsleitung oder -knoten 35, die verstärkt, invertiert und von einem Verstärker 36 in eine Spannung umgewandelt wird. In einer Verriegelungsschaltung 39 wird eine positive Spannung als eine hohe Spannung verriegelt und eine negative Spannung als eine niedrige Spannung verriegelt. Das Ausgangssignal der Verriegelungsschaltung 39 wird über Logikschaltungen an Inverter rückgeführt, die V_{REF} und Masse an die Kondensatorplatten 50A und 50B anlegen. V_{REF} - und Massepotentialen werden an die Kondensatorplatten 50A und 50B angelegt, um eine elektrostatische Kraft in dem Quadranten zu erzeugen, die auf den Rotor 32 einwirkt, um auf diesen zu drücken und ihn in seiner zentrierten Position zu halten. Jeder Satz von Kondensatorplatten wird daher abgetastet, und es tritt eine Korrektur in jeder Sektion ein, um die Position des Rotors 32 zu zentrieren.

Unter Verwendung des MPU 30 oder anderer spezieller üblicher, nicht dargestellter Logik werden die Verriegelungsschaltungen 35 bis 42 abgetastet und die durchschnittlichen hohen und niedrigen Treiberperioden werden über ausgedehnte Zeitperioden verglichen. Es ist anzumerken, daß durch Messung des Oberbereichs (gegenüber beispielsweise einem MPU-Kristall) sehr genaue Messungen durchgeführt werden können und über ausgedehnte Zeitdauern unter Verwendung digitaler Verfahren sehr breite Dynamikbereiche gemessen werden können, was eine genaue Messung und eine sehr empfindliche Vorrichtung ergibt.

Bezugnehmend speziell auf die Fig. 10 und 11 wird nun ein monolithisches Schwingungsgyroskop 26 erläutert. Das Substrat 20 hat einen Montagepfosten 115, der auf dessen planarer Oberfläche ausgebildet ist und eine erste Achse definiert, die in diesem speziellen Beispiel die Eingangsachse ist. Eine im allgemeinen rechteckig gestaltete seismische Masse 120 ist parallel und im Abstand über der planaren Oberfläche des Substrats 20 angeordnet. Die Masse 120 hat eine zentrale Durchgangsöffnung 121 und ist weiterhin im wesentlichen symmetrisch um den Pfosten 115 angeordnet. Zwei auskragende Arme 122 sind jeweils am Pfosten 115 an entgegengesetzten Seiten desselben angeordnet, und die freien Enden der Arme 122 sind am inneren Umfang der Masse 120 befestigt. Die Arme 122 definieren eine zweite, zur ersten Achse orthogonale Achse, die in diesem Beispiel die Achse ist, um die das Gyroskop 26 angetrieben oder in Schwingung versetzt wird. Eine dritte Achse ist als zu den beiden vorgenannten ersten und zweiten Achsen senkrecht verlaufend definiert und bildet die Ausgangsachse. Es versteht sich selbstverständlich, daß die Arme 122 als eine durchgehende Materialbahn oder -steg mit geeigneten Durchgangsöffnungen zur Montage und/oder zum Anschluß der verschiedenen Komponenten ausgebildet sein können.

Zwei Plattenpaare 125 sind auf dem Substrat zwischen diesem und der Masse 120 angeordnet, wobei ein Paar benachbart dem äußeren Ende eines jeden der Arme 122 liegt. Die Platten 125 sind im Abstand zu beiden Seiten der zweiten Achse angeordnet und bilden Kapazitäten C2 und C4 mit der Masse 120 an jedem Ende der zweiten Achse. Vertiefungen 127 sind unter der Masse 120 in das Substrat 20 eingeätzt, um die Distanz zu vergrößern, über die sich die Masse 120 bewegen kann, bevor sie das Substrat 20 berührt.

Zwei Plattenpaare 129 sind über der oberen Hauptfläche der Masse 120 angeordnet, ein Paar jeweils benachbart dem äußeren Ende eines jeden der Arme 122. Die Platten 129 sind im Abstand zu beiden Seiten der zweiten Achse angeordnet und liegen im wesentlichen über den Platten 125 und bilden mit der Masse 120 Kondensatoren C1 und C3 an jedem Ende der zweiten Achse. Die Platten 129 werden beispielsweise (wie in Fig. 3 gezeigt) durch selektives Niederschlagen einer dritten Halbleiterschicht über der zweiten Halbleiterschicht oder durch

Ausbilden einer üblichen Querbrücke ausgebildet.

In Fig. 12 ist ein Schaltbild einer Treiberschaltung mit den Kondensatoren C1 bis C4 dargestellt. Wie gezeigt, sind die Kondensatoren C1 und C4 so angeschlossen, daß sie ein invertiertes Treibersignal aufnehmen, während die Kondensatoren C2 und C3 das Treibersignal direkt erhalten (im dargestellten Beispiel zweifach invertiert wegen der Zeitgabe und der Pufferung). Das Treibersignal besteht aus alternierenden Spannungsimpulsen). Da die Kondensatoren C1 bis C4 derart geschaltet sind, daß diametral gegenüberliegende Kondensatoren das gleiche Signal erhalten, wird die Masse 120 in Schwingung versetzt (in dieser Ausführungsform mit der Eigenresonanzfrequenz), wobei sie um die zweite Achse schwingt, wenn die alternierenden Impulse an den Kondensatoren anliegen. Die Kondensatoren dienen dazu, die Schwingungsamplitude zu überwachen und konstant zu halten.

Fig. 13 zeigt ein Schaltbild einer Zentrier- und Sensorschaltung mit den Kondensatoren C1 bis C4. In der dargestellten Schaltung sind die Kondensatoren C1 und C3 so angeschlossen, daß sie ein Zentrier- und/oder Sensorsignal direkt (zweifach invertiert aus Zeitgabe- und Pufferungsgründen) erhalten, und die Kondensatoren C2 und C4 sind so angeschlossen, daß sie ein invertiertes Zentrier- und/oder Sensorsignal erhalten. Bei dieser Betriebsart in geschlossener Schleife sind die Kondensatoren unter der Masse 120 parallel geschaltet und die Kondensatoren über der Masse 120 sind parallel geschaltet. Durch Verbinden der Kondensatoren in dieser Art ergibt sich eine größere Sensorempfindlichkeit und gleichmäßige Zentrierkraft.

Im Betrieb des Gyroskops 26 werden die Kondensatoren C1 bis C4 an jedem Ende der Masse 120 zeitversetzt in den zwei Arten betrieben, die in den Fig. 7 und 8 dargestellt sind. In der ersten Betriebsart sind die Kondensatoren C1 bis C4 so verbunden, wie in Fig. 12 gezeigt, und eine Vibrations- oder Schwingbewegung um die zweite Achse, die durch die Arme 122 definiert wird, wird der Masse 120 vermittelt. Die Kondensatoren C1 bis C4 werden periodisch in die Sensorbetriebsart geschaltet. Wenn das Gyroskop 26 um die erste Achse rotiert, die durch den Pfosten 115 definiert ist, dann bewirkt die Corioliskraft eine Schwingung der Masse 120 um die dritte Achse. Diese Schwingung führt zu im wesentlichen gleichen Änderungen in den Größen der Kapazitäten C1, C3 und zu gleichen Änderungen in den Größen der Kapazitäten C2 und C4 an jedem Ende der Masse 120. Die Kapazitätsänderungen werden ermittelt und in ein die gemessene Drehrate des Gyroskops 26 repräsentierendes Signal umgewandelt. Ein Treibersignal, das durch die ermittelte Schwingung erzeugt wird, wird dann der in Fig. 13 dargestellten Schaltung als Rückkopplungssignal zugeführt, um die Masse 120 in die Mitte zu zwingen.

Fig. 14 zeigt eine Schaltung einer Sensor- und Steuerschaltung, die mit dem Gyroskop 26 von Fig. 10 verbunden ist und Fig. 15 zeigt Signalverläufe, die an den verschiedenen Punkten der Schaltung gemessen werden können. Zur Vereinfachung der Beschreibung der Fig. 9 und 10 sind die Kondensatoren, die am einen Ende der Masse 120 ausgebildet sind, mit C1A bis C4A bezeichnet, und die Kondensatoren, die am anderen Ende der Masse 120 ausgebildet sind, sind mit C1B bis C4B bezeichnet. Die Masse 120 oder die zentrale Platte eines jeden der Kondensatorpaare ist durch die Verbindungsleitung 215 in Fig. 14 dargestellt, wobei die Signale den oberen und unteren Kondensatorplatten eines jeden der Kondensatoren über die gezeigte Logikschaltung zugeführt werden. Zum Zeitpunkt $T = 0$ (Fig. 15) sind die Kondensatoren in die in Fig. 13 gezeigte Konfiguration geschaltet, wobei der Eingangsanschluß 1P1 hochgeht und die Spannung V_{REF} an die oberen Platten der Kondensatoren C1A und C3A liegt und Massepotential an die unteren Platten der Kondensatoren C2A und C4A liegt. Die Mittenplatte, d. h. die Verbindungsleitung 215 in Fig. 14, befindet sich auf V_{REF} aufgrund eines virtuellen Erdverstärkers 216, der eine Einheitsverstärkung hat, weil ein Schalter 217 von einem Niedersignal P3 am Steuereingangsanschluß desselben geschlossen ist.

Zum Zeitpunkt $T = 1$ wird P3 hoch, und der Schalter 217 wird ausgeschaltet, so daß der Verstärker 216 als ein virtueller Masseintegrierverstärker aktiv wird. Zum Zeitpunkt $T = 2$ wird der Eingangsanschluß 1P2 von niedrig nach hoch umgeschaltet, was die Spannung an den oberen Platten der Kondensatoren C1A und C3A von V_{REF} auf Massepotential umschaltet und die Spannung an den unteren Platten der Kondensatoren C2A und C4A von Massepotential auf V_{REF} umschaltet. Jede Differenz zwischen den Kapazitäten der Kondensatoren C1A + C3A und C2A + C4A führt zu einer Änderung an der Verbindungsleitung 215, die verstärkt, invertiert und vom Verstärker 216 in eine Spannung umgewandelt wird.

Zum Zeitpunkt $T = 4$, nachdem die Verstärker Zeit gehabt haben, sich einzustellen, wird das Signal von einer Verriegelungsschaltung 219 verriegelt. Die Verriegelungsschaltung 219 wird von einer negativen Flanke getriggert, getaktet durch Signale am Eingangsanschluß 1P2, und sie verriegelt positive Spannungssignale als "hoch" und negative Spannungssignale als "niedrig". Der Ausgang der Verriegelungsschaltung 219 wird über Torschaltungen 210, 211, 212, 213, 214 und 238 Invertieren 236, 227, 228, 229, 220 und 221 zugeführt, die V_{REF} und Massepotential an die Platten der Kondensatoren C1A, C2A, C3A und C4A liegen. Durch Anlegen von V_{REF} und Massepotential in der beschriebenen Weise wird dasselbe Potential an die Platten C1A und C3A und dasselbe Potential an die Platten C2A und C4A angelegt, so eine elektrostatische Kraft an der Mittenplatte, nämlich der Masse 120, erzeugt wird, die die Masse 120 in ihre Mittenposition zieht und hält. Die elektrostatische Kraft wird an der Masse 120 in dieser Sektion vom Zeitpunkt $T = 4$ bis $T = 32$ und wieder von $T = 64$ bis $T = 96$ erzeugt. Die Position der Masse 120 wird wieder in dieser Sektion abgetastet, wenn $T = 128$ ist. Zu den Zeitpunkten $T = 64, 192$ usw. werden die Kapazitäten von C1B + C3B und C2B + C4B abgetastet, und während der Zeitpunkte $T = 64$ bis 96 und 128 bis 160 wird die korrigierende elektrostatische Kraft erzeugt, um die Masse 120 am anderen Ende derselben zu zentrieren.

Über ausgedehnte Zeitperioden bis einer Sekunde wird die Zeitdauer der korrigierenden elektrostatischen Kraft an den Kondensatorplatten am Ende A der Masse 120 mit der korrigierenden elektrostatischen Kraft am Ende B der Masse 120 verglichen. Es ist anzumerken, daß diese Signale Wechselstromsignale sind, die mit der Schwingungsfrequenz der Masse 120 moduliert sind, so daß die Signale demoduliert werden müssen, um sie zu vergleichen. Dieser Vergleich ergibt die Drehrate. Eine maximale Empfindlichkeit erzielt man durch einen engen Abstand zwischen den Sensorplatten und dem optimierten Abstand zwischen den Kondensatorsätzen.

Bei dieser speziellen Ausführungsform wird die Schwingung der Masse 120 um die von den Armen 122 definierte X-Achse wie folgt hervorgebracht. Während der Zeitperioden $T = 0$ bis 32, 64 bis 96, 128 bis 160 usw. ist das Signal am Eingangsanschluß 3P2, der mit den Torschaltungen 222, 223, 224 und 225 verbunden ist, hoch. Dieses hohe Signal sperrt die Signale von der Verriegelungsschaltung 226 gegen das Steuern oder Treiben der Kondensatorplatten und ermöglicht gleichzeitig den Signalen von den Verriegelungsschaltungen 219 und 230, die Masse 120 abzutasten und zu steuern. Während der Zeitpunkte $T = 32$ bis 64, 96 bis 128 usw. sind die Signale an den Eingangsanschlüssen 1P2 und 2P2 hoch, wodurch die Signale von den Verriegelungsschaltungen 219 und 230 dagegen gesperrt werden, den Kondensatoren zugeführt zu werden. Während dieser Zeitpunkte werden die Kondensatoren von der Verriegelungsschaltung 226 betrieben.

Während der Zeitperioden $R = 32$ bis 64, 96 bis 128 usw. ist die Schaltung elektronisch auf den Zustand umgeschaltet, der in Fig. 12 dargestellt ist, wobei die Winkelposition der Masse 120 am Beginn eines jeden Zyklus durch Messen der Kapazitätsdifferenz zwischen $C1A + C4A + C1B + C4B$ und $C2A + C3A + C2B + C3B$ ermittelt wird. Die Masse 120 wird dann durch die elektrostatischen Kräfte angetrieben, in dem geeignete Spannungen an die oberen und unteren Kondensatorplatten angelegt werden, um die Masse in Schwingung zu versetzen. Die Drehung um die Achse durch die Arme 122 (X-Achse) wird beispielsweise ermittelt. Die Masse 120 wird in einer Richtung angetrieben, bis eine vorbestimmte Kapazitätsdifferenz ermittelt wird, sodann wird die Verriegelungsschaltung 219 getriggert, und die Treiberspannungen an der Masse 120 werden umgekehrt, und die Masse 120 wird in der entgegengesetzten Richtung angetrieben, bis eine vorbestimmte Kapazität ermittelt wird. Unter Verwendung dieses Antriebsverfahrens wird die Masse 120 um die X-Achse mit der Eigenresonanzfrequenz des Aufbaus in Schwingung versetzt bei fester Schwingungsamplitude. Die Masse 120 wird daher mit Resonanz betrieben, und Corioliskräfte, die durch die Drehung des Gyroskops 26 um die Z-Achse erzeugt werden, werden gemessen, und die Masse 120 wird im wesentlichen in ihrer zentrierten Position gehalten, indem die Treibersignale, die den vier Sensorkondensatorpaaren zugeführt werden, multiplexiert werden.

Die Fig. 16 bis 20 zeigen eine Ausführungsform eines 3-Achsen-Beschleunigungsmessers 28 in detaillierter Weise. In Fig. 16 erkennt man, daß der Beschleunigungsmesser 26 auf einem Substrat 20 ausgebildet ist und eine erste leitfähige Schicht 154 aufweist, die auf der planaren Oberfläche des Substrats 20 ausgebildet ist. Eine zweite leitfähige Schicht 156 liegt auf einem zentral angeordneten Pfosten 158, der seinerseits auf dem Substrat 20 ruht. Eine Schicht 156 liegt über der Schicht 154 im Abstand zu dieser und ist jener gegenüber beweglich, die nachfolgend erläutert wird. Eine dritte leitfähige Schicht 160 ist fest im Abstand über der zweiten Schicht 156 angeordnet. Sie wird von Säulen 162 getragen, die sich vom äußeren Rand der Schicht 160 des Substrats 20 erstrecken. Die verschiedenen Schichten werden durch bekannte Mikroabtragstechniken und durch die Verwendung von Opferschichten hergestellt, wie oben erläutert, was deshalb nicht weiter erläutert werden soll.

Fig. 17 ist eine Draufsicht auf die Schicht 156 mit den Säulen 162, die im Schnitt dargestellt sind, um die relative Position zu zeigen. Die Schicht 156 ist eine im wesentlichen quadratische, planare Masse, die an den mittleren Montagepfosten 158 mittels vier Armen 164 befestigt ist. Die Arme 164 sind mit einem wellenförmigen mittleren Abschnitt versehen, der eine federartige Wirkung hervorbringt, um eine Bewegung der Schicht 156 in jeder Richtung relativ zum Montagepfosten 158 zu ermöglichen. Die Schicht 160 enthält vier im wesentlichen rechteckige leitfähige Platten 166, die jeweils kegelstumpfförmige Ecken haben, um mit den im wesentlichen gleichartig gestalteten Abschnitten der Schicht 156 übereinzustimmen. Jede der Platten 166 wirkt mit der Schicht 156 zusammen, um einen Kondensator 167A bis 167D zu bilden (siehe Fig. 9), und vergleichbare Platten in der Schicht 154 wirken mit der Schicht 156 zusammen, um Kondensatoren 168A bis 168D zu bilden (siehe Fig. 19). Zwei der Platten 156 sind so angeordnet, daß sie die Y-Achse definieren, während die übrigen zwei Platten 166 so angeordnet sind, daß sie die X-Achse definieren. Die Z-Achse, die durch die Schichten 154, 156 und 160 definiert wird, verläuft senkrecht zur Oberfläche des Substrats 20. Es werden somit drei zueinander senkrechte Achse definiert, und die Kondensatoren 167A bis 167D und 168A bis 168D sind so angeordnet, daß sie Beschleunigung längs dieser Achsen ermitteln.

Fig. 18 zeigt eine stark vergrößerte Draufsicht auf Abschnitte der Schicht 156 und der Platten 166 (der Einfachheit halber 166A und 166B bezeichnet), um im Detail die Art zu zeigen, wie sich die Kondensatoren 167B und 167D verändern. Wenn eine Beschleunigungskraft längs der X-Achse bewirkt, daß die Schicht 156 sich in Richtung nach oben in Fig. 18 bewegt, dann liegt mehr von der Platte 166B über der Schicht 156, was dazu führt, daß die Kapazität des Kondensators 167B zunimmt. Weniger von der Platte 166D liegt über der Schicht 156, was zur Folge hat, daß die Kapazität des Kondensators 166D abnimmt. In gleicher Weise nehmen die Kondensatoren 168B und 168D zwischen der Schicht 156 und der Schicht 154 in der Kapazität zu bzw. ab. Die Kondensatoren 167B, 167D, 168B und 168D werden somit in einer elektronischen Differenzschaltung dazu verwendet, die Beschleunigung längs der X-Achse zu ermitteln. In gleicher Weise werden die Kondensatoren 167A, 167C, 168A und 168C dazu verwendet, die Beschleunigung längs der Y-Achse zu ermitteln. Fig. 19 zeigt die Kondensatoren 167A bis 167D und 168A bis 168D, die mit einem Komparator 169 in einer typischen Sensorschaltung verbunden sind. Der Komparator 169 vergleicht das Eingangssignal, das von den Kondensatoren zugeführt wird, mit einem Bezugssignal, um jede Kapazitätsänderung zu ermitteln.

Fig. 20 zeigt eine Schalter- oder Treiberschaltung 175, die die Sensorschaltung von Fig. 19 enthält. Durch Ermittlung der verschiedenen Kapazitätsänderungen können die folgenden Funktionen ausgeführt werden:

FUNKTION

ANGETRIEBENE KONDENSATOREN

Beschleunigung in X-Richtung	167A + 168A ./.	167C + 168C	
Beschleunigung in Y-Richtung	167B + 168B ./.	167D + 168D	5
Beschleunigung in Z-Richtung	167A = 167C ./.	168A + 168C	
Selbsttest in Z-Richtung	167B = 167D oder	168B + 168D	
Drehbeschleunigung um X-Achse	167B + 168D ./.	167D + 168B	10
Drehbeschleunigung um Y-Achse	167A + 168C ./.	168A + 167C.	

Die Schalterschaltung 175 verbindet die verschiedenen Kondensatoren in einem der oben bezeichneten gegenseitigen Verhältnisse, um die gewünschte Messung auszuführen, und der Komparator 169 vergleicht das Eingangssignal von den Kondensatoren mit einem Bezugssignal. Auf diese Weise wird die Beschleunigung längs der drei zueinander senkrechten Achsen gemessen, die Drehbeschleunigung um zwei der Achsen kann gemessen werden und wenigstens ein Teil des Beschleunigungsmessers und der zugehörigen Schaltung kann getestet werden. 15

Fig. 21 zeigt eine integrierte Schaltung 180, die mit einem Mehr-Achsen-Gyroskop 24, einem Gyroskop 26 und einem Drei-Achsen-Beschleunigungsmesser 28 auf einem Substrat 20 integriert vereinigt ist. Auf dem Substrat 20 ist auch die Schaltung angeordnet, die mit den Gyroskopen und dem Beschleunigungsmesser verbunden ist, um Signale zu erzeugen, die für die Drehung um die drei zueinander orthogonalen Achsen und die Beschleunigung längs dieser drei Achsen repräsentativ sind. Weiterhin enthält die Schaltung alle in der Regelschleife enthaltenen Komponenten, die dazu verwendet werden, die Schwingung zu erzeugen und die beweglichen Teile der verschiedenen Vorrichtungen in einer annähernd zentrierten Position zu halten. Die Schaltung enthält auch einen oder mehrere EPROMs oder EEPROMs und eine Schaltung zum Messen der Umgebungstemperatur des Chip, so daß eine automatische Temperaturkalibrierung der verschiedenen Funktionen kontinuierlich ausgeführt wird. Bei dieser speziellen Ausführungsform enthält die Schaltung auch Schaltkreise, die die Drehungs- und Beschleunigungsmesser dazu verwenden, eine kontinuierliche Anzeige der Position des Trägheitsführungssystems 22 zu liefern. Schaltungen, die üblicherweise für die oben beschriebenen Zwecke eingesetzt werden können, beispielsweise Mikroprozessor 30 od. dgl., sind ebenfalls auf dem Chip angeordnet. Das gesamte Trägheitsführungssystem 22 kann mittels einer oberen Schicht vergossen werden, die die oberste Schicht jedes der Gyroskope 24 und 26 und den Beschleunigungsmesser 28 enthält. Die Vergußschicht könnte auch ein zweites Substrat sein, das einen Hohlraum aufweist, der in die Unterseite eingätzt ist, um die zwei Gyroskope und den Beschleunigungsmesser darin aufzunehmen, und die Schaltung, einschließlich des MPU 30, könnten teilweise oder vollständig auf einer Oberfläche derselben ausgebildet sein. 25 30 35

Die Integration schützt die Strukturen und Schaltungen gegen elektrostatische Entladungen während der Handhabung und auch gegen Funk- und andere Strahlungsstörungen. Die geringeren Kapazitäten bedeuten auch geringere Antriebskräfte und Stromverbräuche. Ein zusätzlicher Vorteil ergibt sich bei der Kalibrierung der Empfindlichkeiten der verschiedenen Funktionen bei Temperaturänderungen unter Verwendung von E/EEPROMs im MPU mit Überwachung der Temperatur an Bord. 40

Patentansprüche

1. Trägheitsführungssystem, gekennzeichnet durch eine Gyroskopvorrichtung (24, 26), die Gyroskopausgänge um drei zueinander orthogonale Achsen liefert, wobei die Vorrichtung auf einem Halbleitersubstrat (20) ausgebildet ist und eine Steuerschaltung (30) auf demselben Halbleitersubstrat ausgebildet und elektrisch mit der Gyroskopvorrichtung verbunden ist, um diese zu steuern und die Gyroskopausgänge entgegenzunehmen. 45
2. Trägheitsführungssystem nach Anspruch 1, weiterhin gekennzeichnet durch eine Beschleunigungsmesservorrichtung (28), die auf dem einzigen Substrat (20) ausgebildet ist und Beschleunigungsausgänge liefert, die für die Beschleunigung längs der drei zueinander senkrechten Achsen kennzeichnend sind. 50
3. Trägheitsführungssystem nach Anspruch 2, weiterhin gekennzeichnet durch eine Steuervorrichtung (30, 175), die elektrisch mit der Beschleunigungsmesservorrichtung (28) verbunden ist und auf dem einzigen Halbleitersubstrat ausgebildet ist. 55
4. Trägheitsführungssystem nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Beschleunigungsmesservorrichtung ein einziger Drei-Achsen-Beschleunigungsmesser (28) ist. 60
5. Trägheitsführungssystem nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die drei zueinander senkrechten Achsen, längs der die Beschleunigungsmesservorrichtung Beschleunigungsausgänge liefert, dieselben drei zueinander senkrechten Achsen sind, um die die Gyroskopvorrichtung Gyroskopausgänge liefert. 65
6. Trägheitsführungssystem nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Gyroskopvorrichtung, die eine Drehschwingungsgyroskopvorrichtung enthält, die auf dem Substrat ausgebildet ist und Gyroskopausgänge um drei zueinander senkrechte Achsen liefert, enthält: einen Haltepfosten (35), der fest an einer Basis (20) angebracht ist und eine erste Achse definiert, eine Masse (32), die in einer Ebene senkrecht zu dem Pfosten (35) angeordnet ist, Federn (42A, 42B), die am einen Ende mit dem Pfosten (35) verbunden sind und

am anderen Ende mit der Masse (32) verbunden sind und die Masse (32) zur schwingenden Drehbewegung um den Pfosten (35) halten, wobei eine Antriebsvorrichtung (45, 46, 47) benachbart der Masse (32) angeordnet ist, um diese zu veranlassen, sich in einer drehenden Schwingbewegung um die erste Achse zu bewegen, und eine Sensorvorrichtung (50, 51, 52, 53) benachbart der Masse (32) angeordnet ist und zweite und dritte zueinander und zur ersten Achse senkrechte Achsen definieren, um die Bewegung der Masse (32) um die dritte Achse in Abhängigkeit von der Bewegung des Gyroskops um die zweite Achse zu ermitteln.

7. Trägheitsführungssystem nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Basis ein Substrat (20) ist, das eine im wesentlichen flache Oberseite aufweist, und die Masse (32) eine im wesentlichen scheibenförmige Schicht aus Halbleitermaterial ist, die in einer Ebene parallel zu der flachen Oberseite des Substrats und im Abstand davon angeordnet ist.

8. Trägheitsführungssystem nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Sensorvorrichtung erste Platten (50, 51) enthält, die parallel zu und benachbart der Masse (32) angeordnet sind, um die Bewegung um die dritte Achse in Abhängigkeit von der Bewegung des Gyroskops um die zweite Achse zu erfassen, und zweite Platten (52, 53), die parallel zu und benachbart der Masse (32) angeordnet sind, um die Bewegung um die zweite Achse in Abhängigkeit von der Bewegung des Gyroskops um die dritte Achse zu erfassen.

9. Trägheitsführungssystem nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Beschleunigungsmesservorrichtung einen Drei-Achsen-Beschleunigungsmesser (28) enthält, der auf dem Substrat angeordnet ist und mehrere Schichten leitfähigen Materials enthält, die jeweils eine Ebene definieren und jeweils so angeordnet sind, daß die definierten Ebenen parallel und im Abstand zueinander verlaufen, wobei eine erste der Schichten (154) fest montiert ist und die zweite Schicht (156) in begrenztem Umfang relativ zur ersten Schicht (154) beweglich gelagert ist, wobei die ersten und zweiten Schichten einen ersten Kondensator bilden, der in Abhängigkeit von der Beschleunigung des Beschleunigungsmessers längs einer ersten Achse (Z) variiert, die durch die ersten und zweiten Schichten (154, 156) definiert ist, und daß erste und zweite Strukturen (166) als Teil der ersten und zweiten Schichten ausgebildet und parallel übereinander angeordnet sind, wobei die zweiten Strukturen (166) mit der zweiten Schicht relativ zur ersten Schicht beweglich sind und die ersten und zweiten Strukturen (166) weiterhin so ausgebildet sind, daß sie zweite und dritte Achsen (X, Y) definieren, die zueinander und zur ersten Achse (Z) senkrecht sind, wobei variable Kondensatoren (168A—168D) zwischen den ersten und zweiten Strukturen ausgebildet sind, deren Größe in Übereinstimmung mit der Beschleunigung in den zweiten und dritten Achsen variiert.

10. Trägheitsführungssystem nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Steuerschaltung eine Temperaturmeßvorrichtung (29) und eine Schaltung (30), die mit der Gyroskopvorrichtung (24, 26) und der Beschleunigungsmesservorrichtung (28) zur Temperaturkalibrierung im wesentlichen aller Funktionen der Gyroskopvorrichtung und der Beschleunigungsmesservorrichtung verbunden sind, enthält.

Hierzu 13 Seite(n) Zeichnungen

- Leerseite -

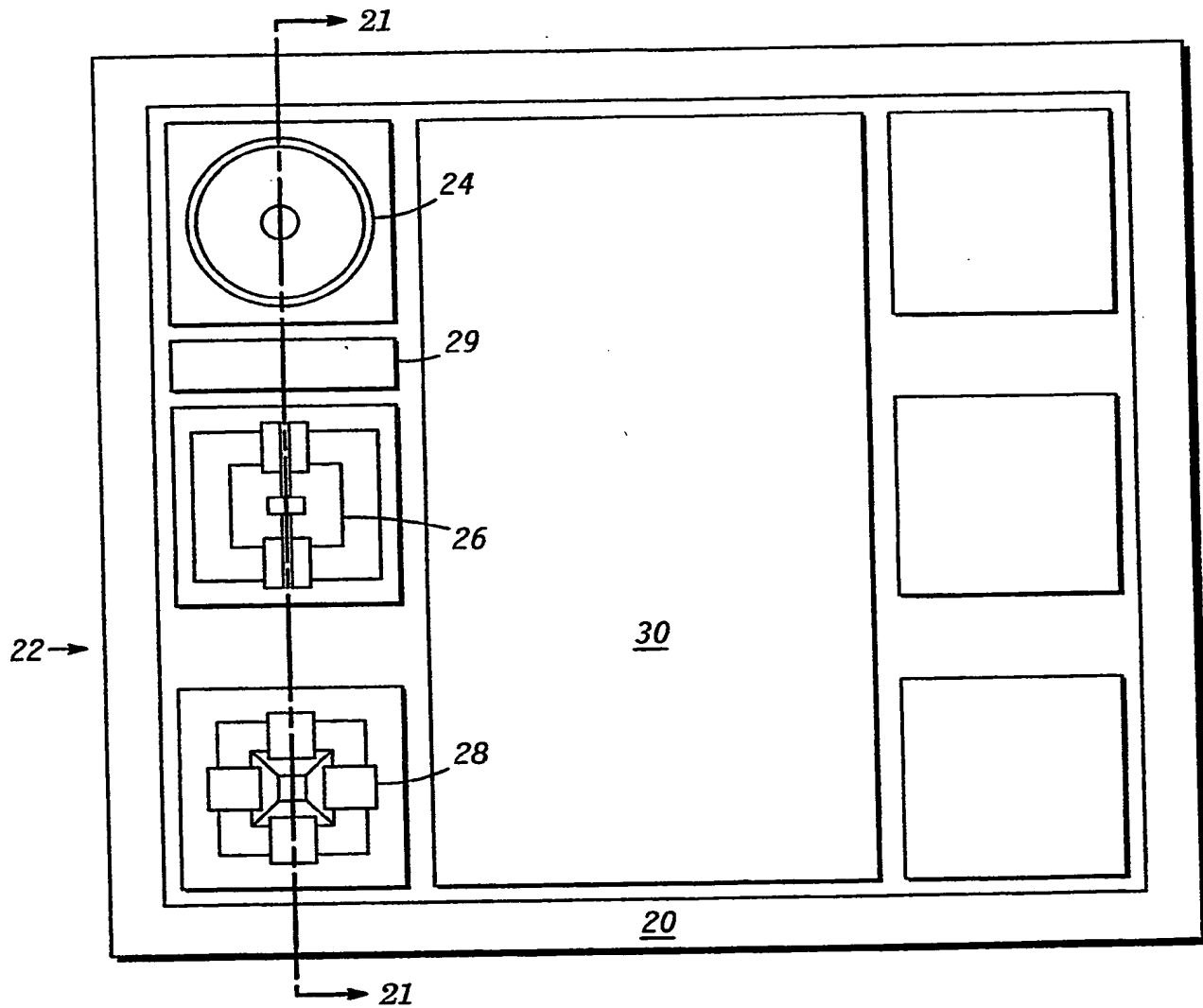


FIG. 1

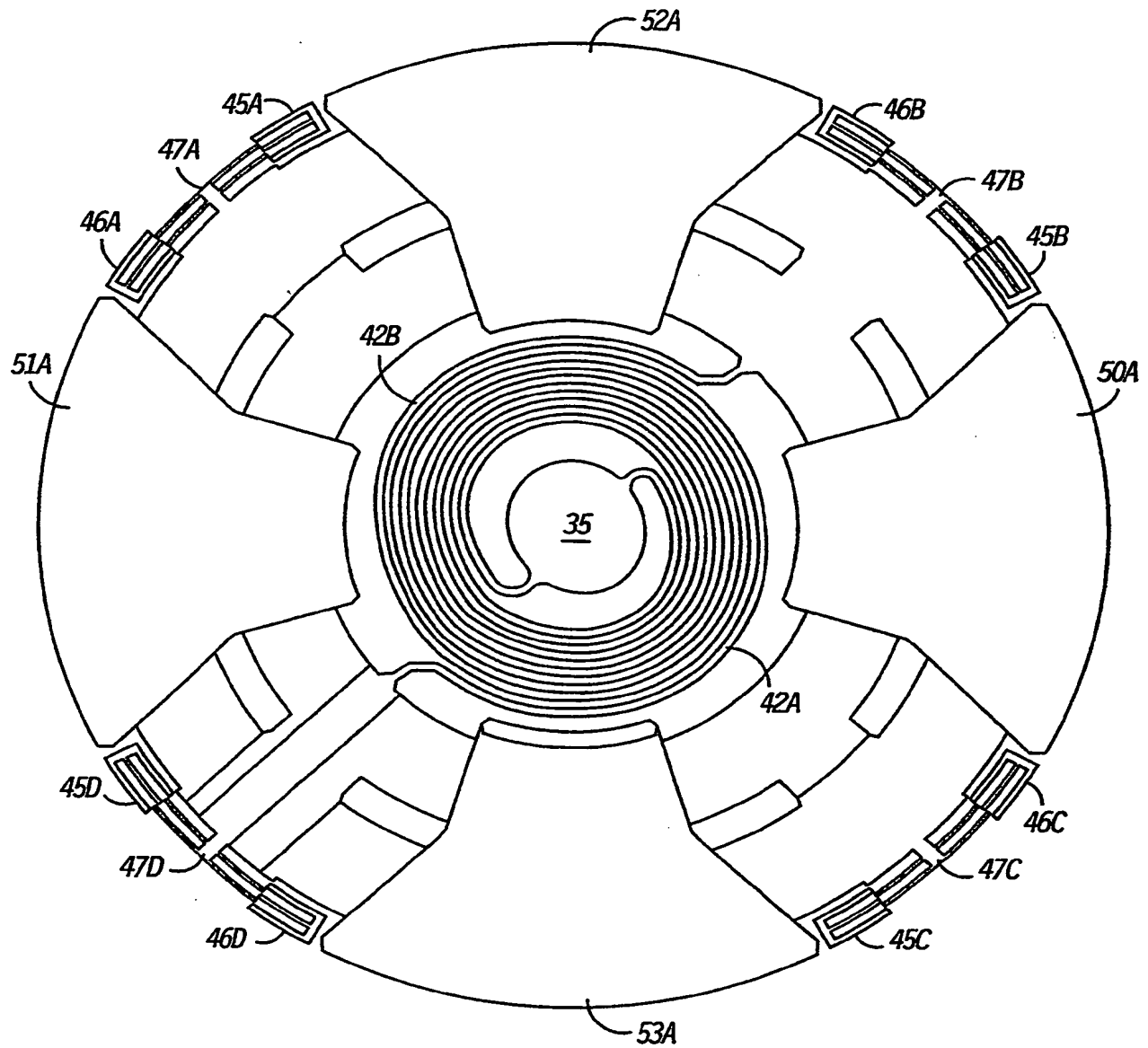


FIG. 2

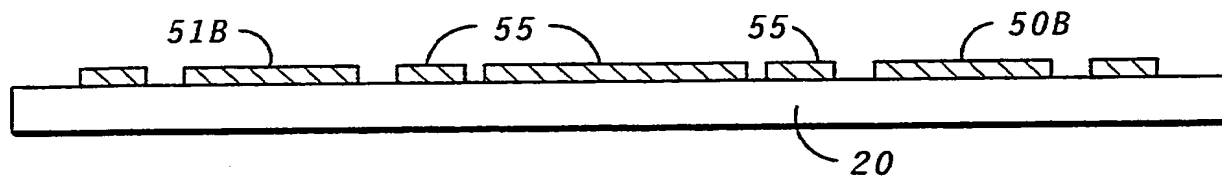


FIG. 3

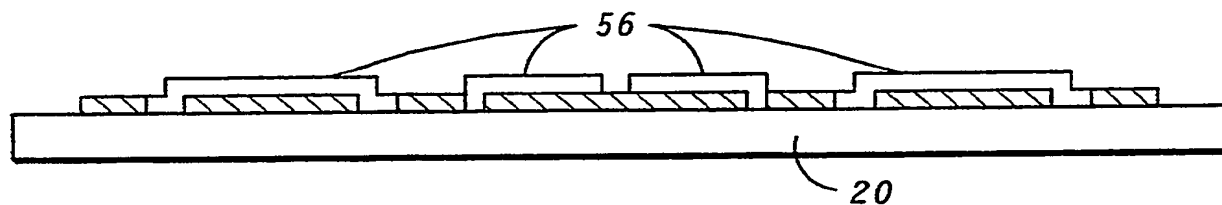


FIG. 4

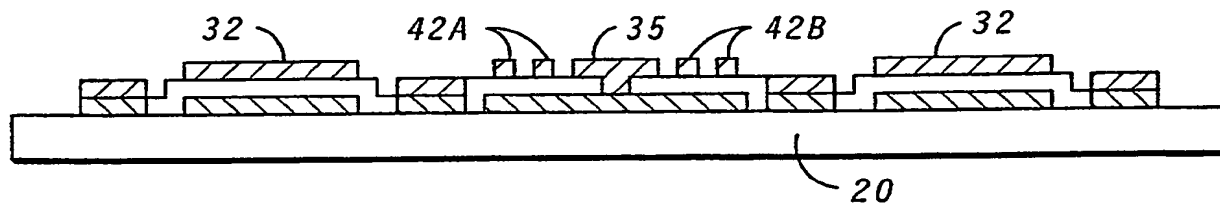


FIG. 5

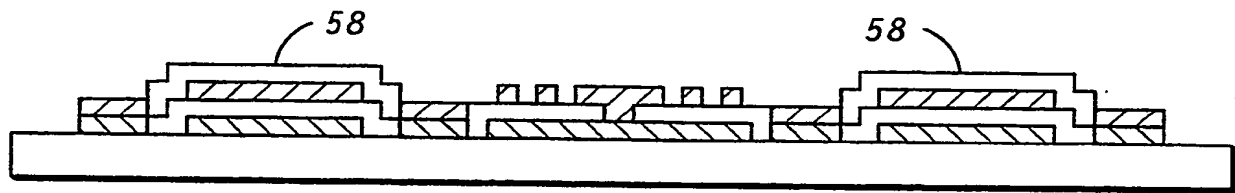


FIG. 6

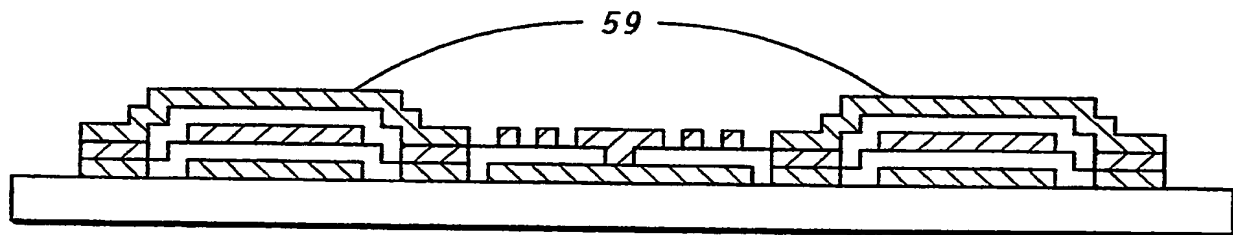


FIG. 7

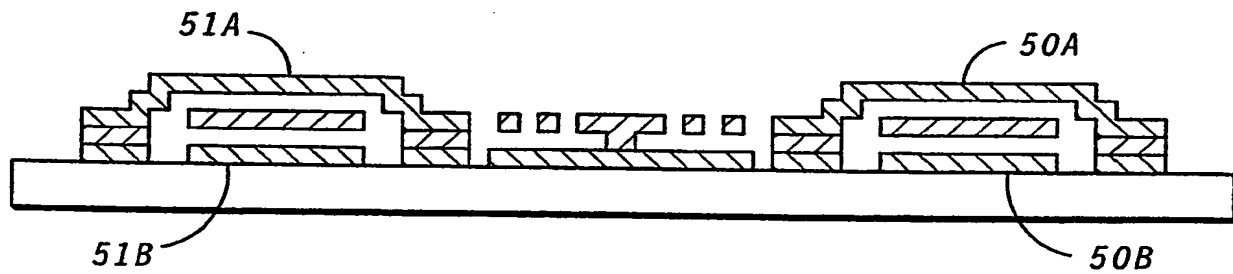


FIG. 8

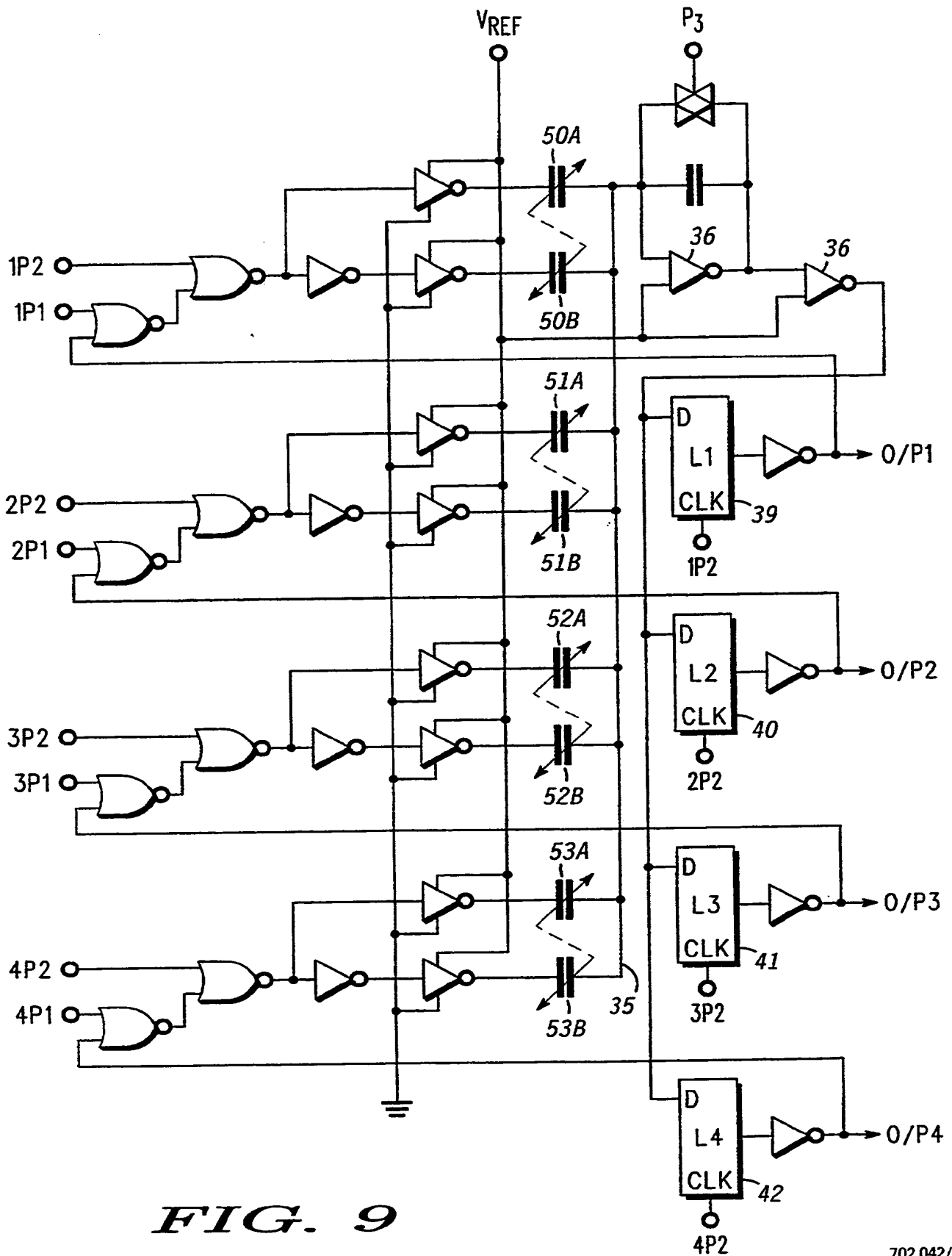


FIG. 9

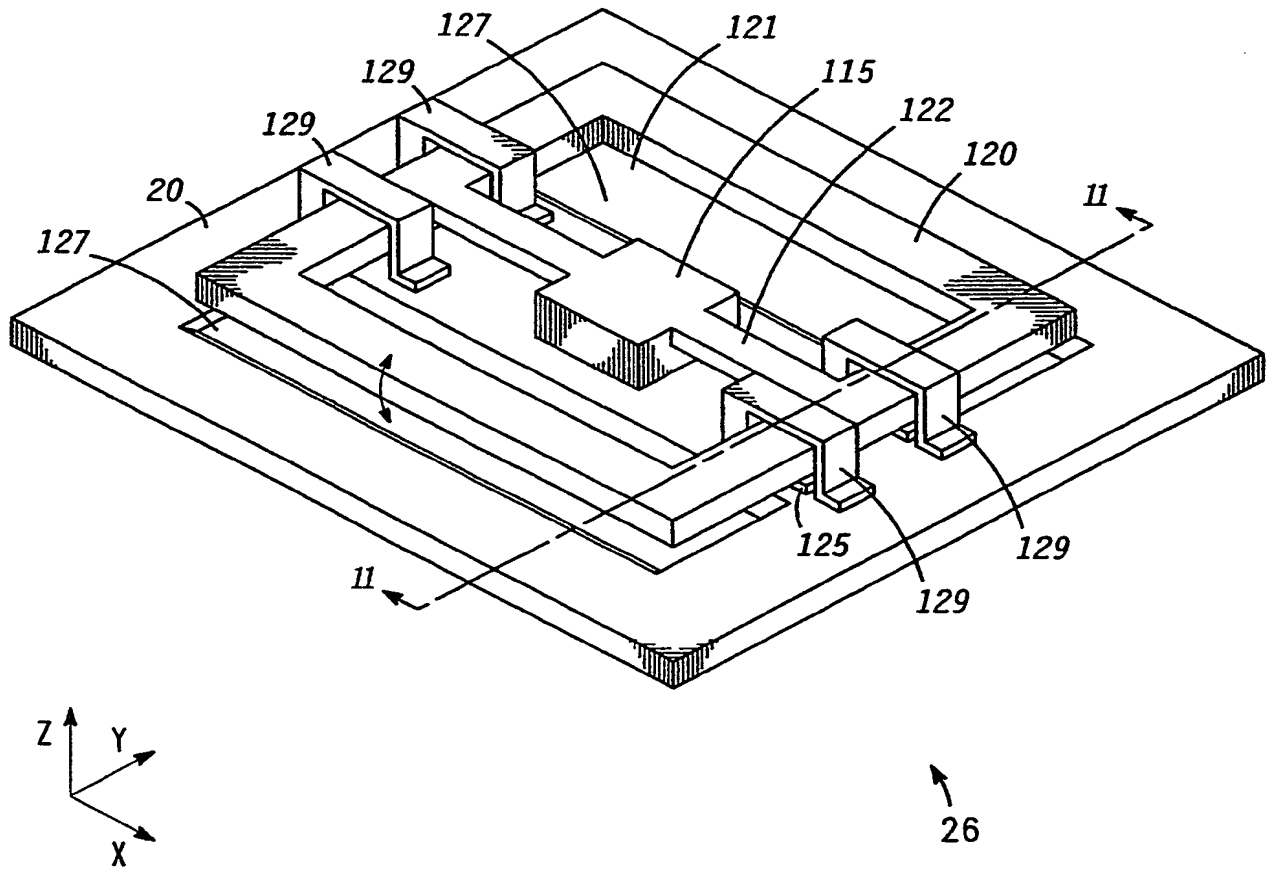


FIG. 10

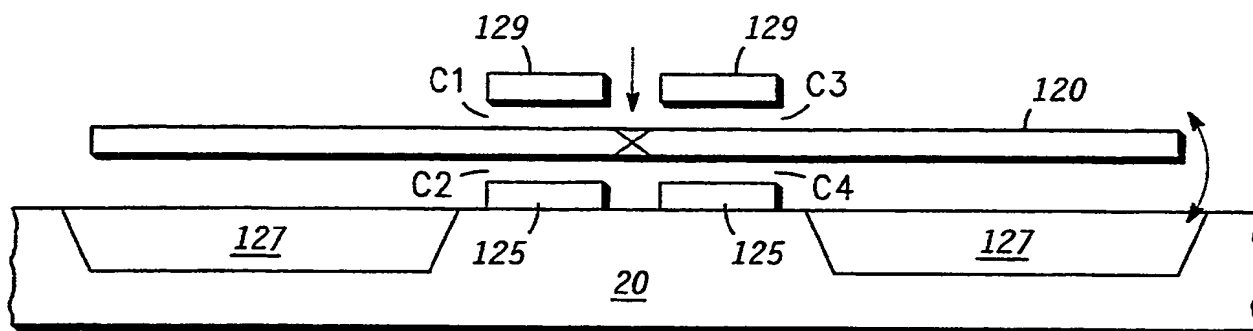


FIG. 11

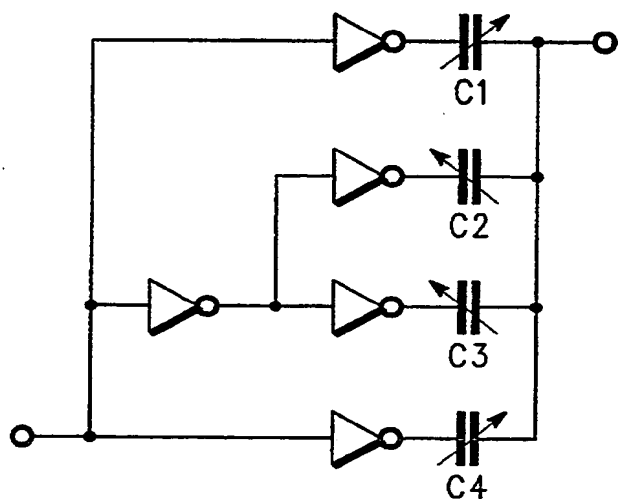
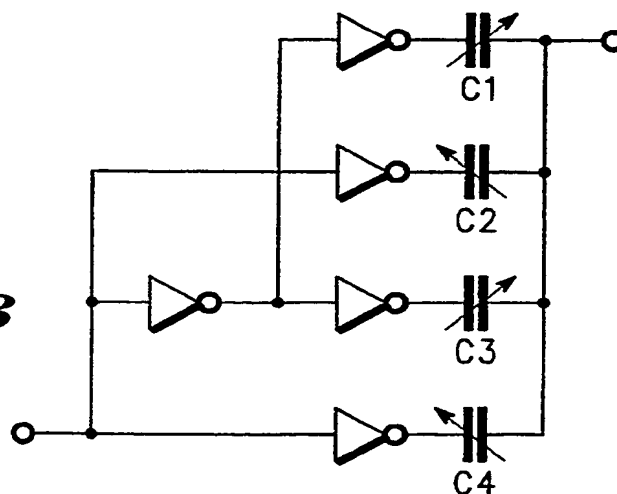


FIG. 12

FIG. 13



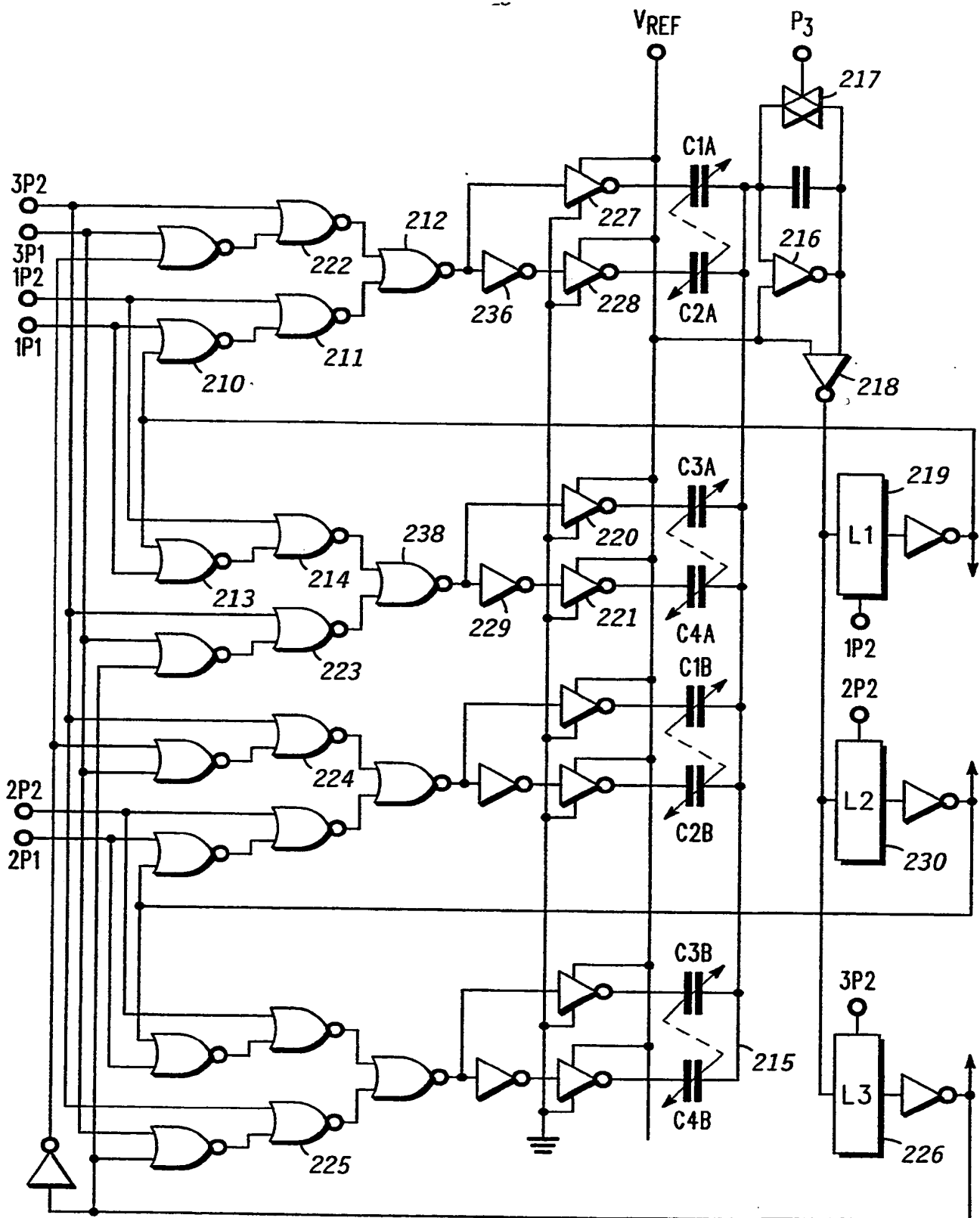


FIG. 14

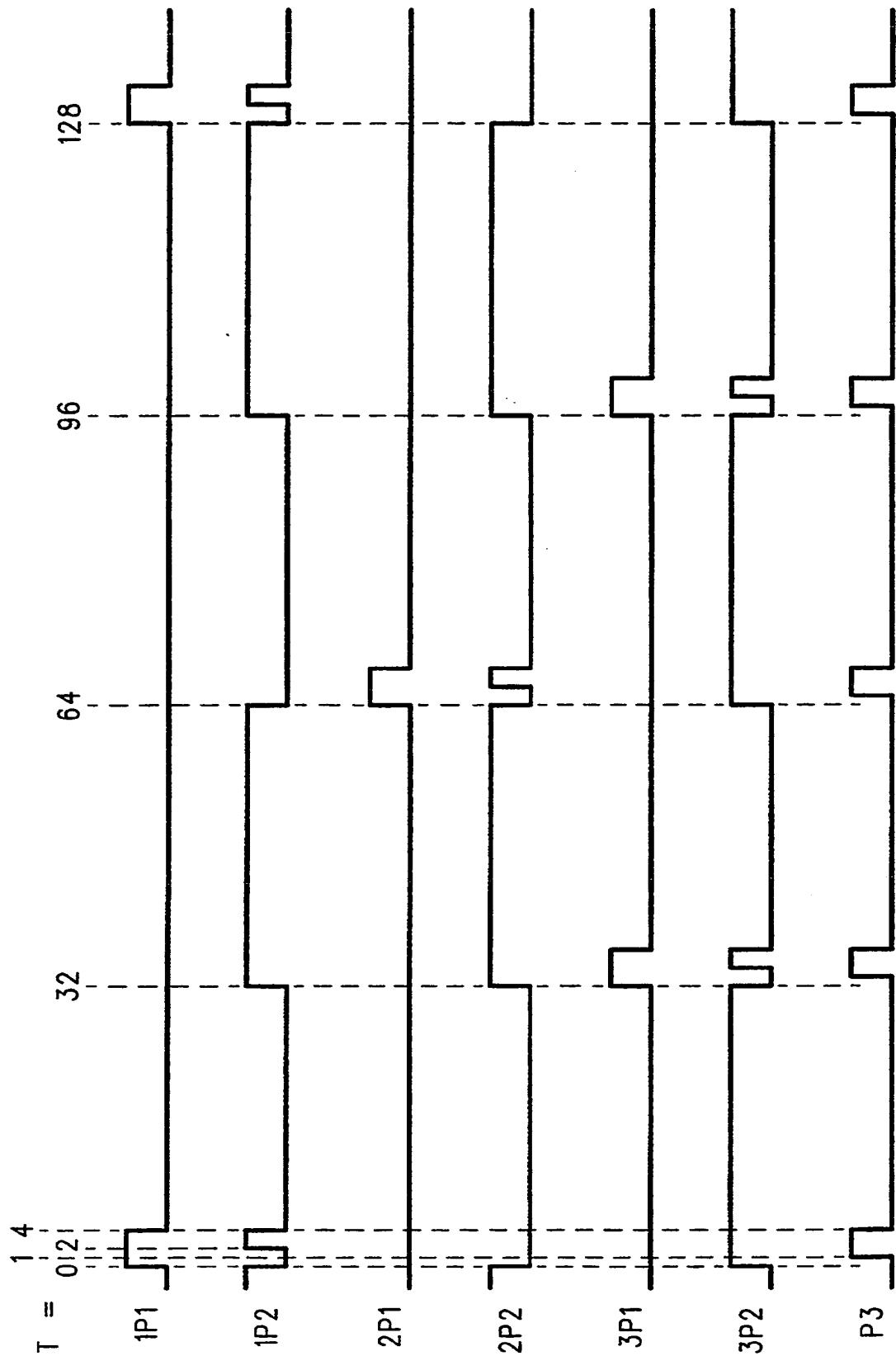


FIG. 15

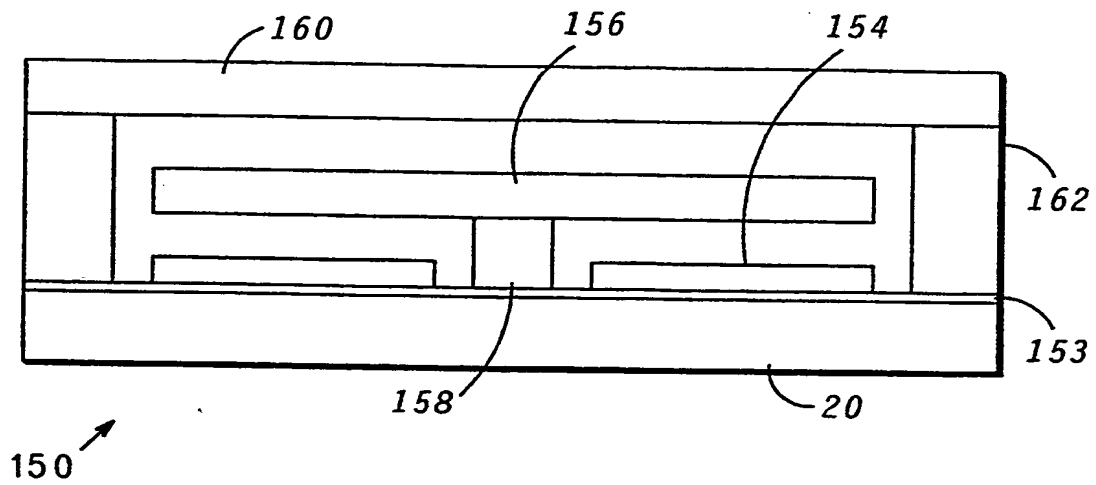


FIG. 16

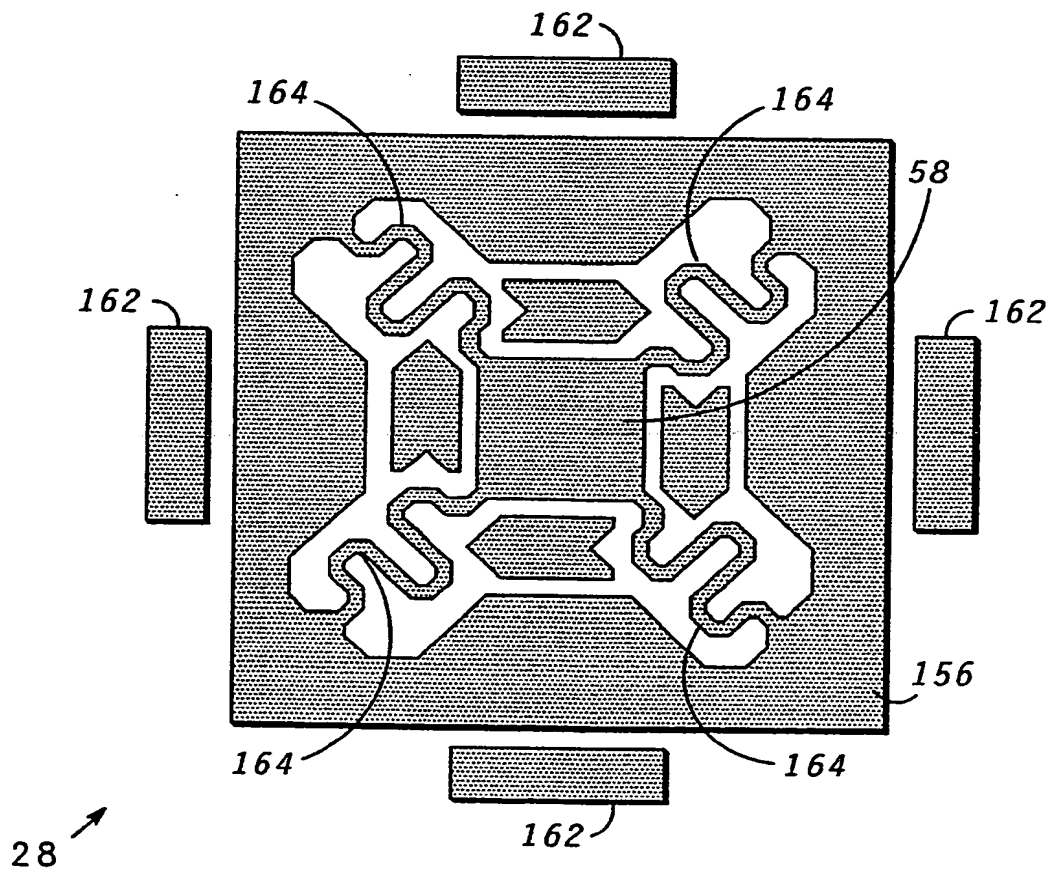


FIG. 17

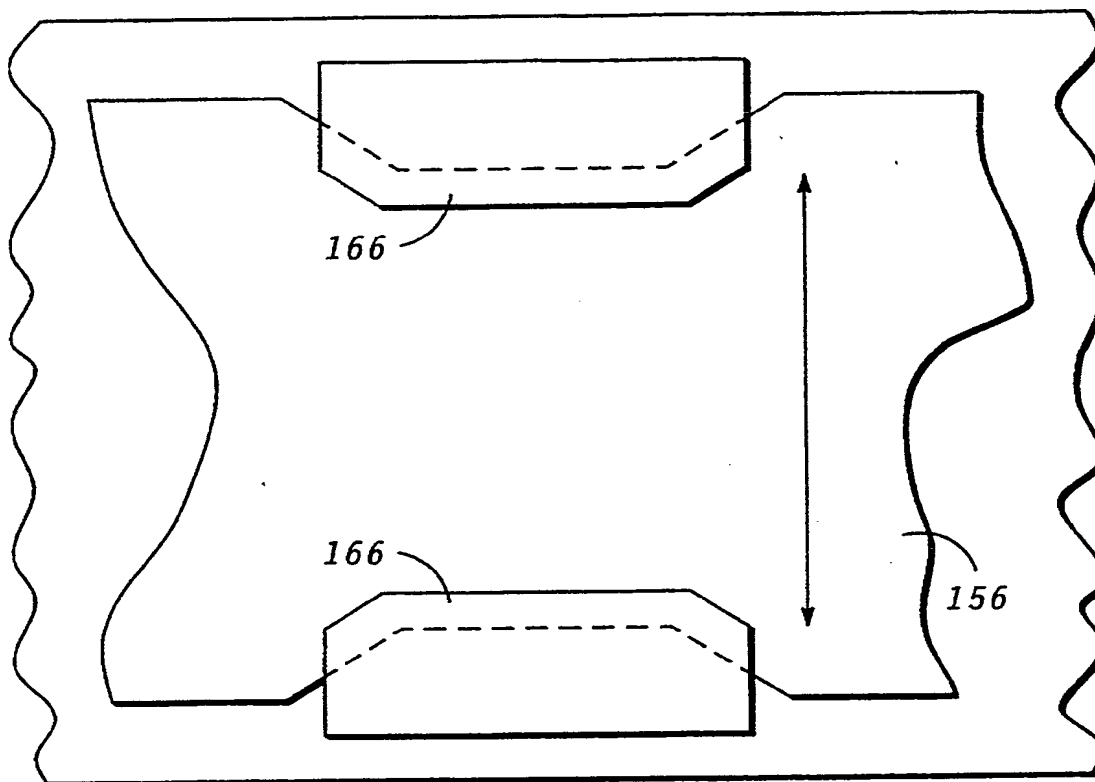


FIG. 18

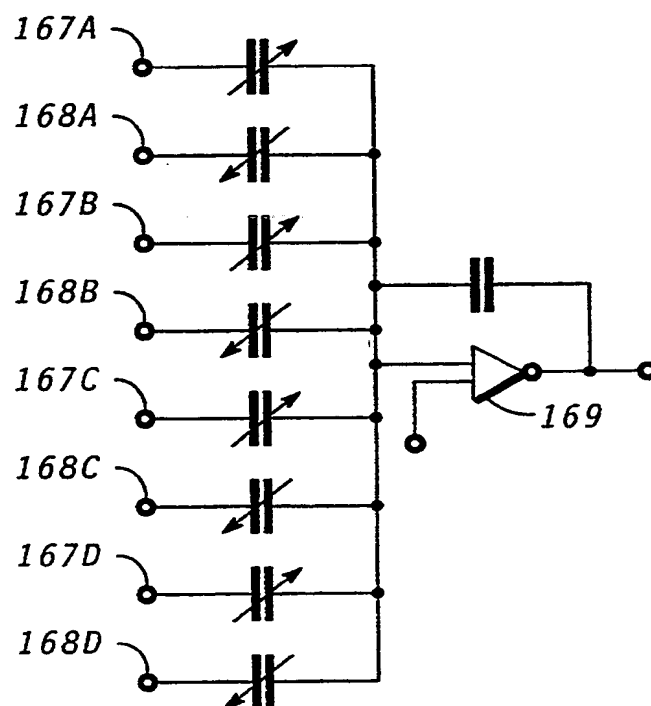
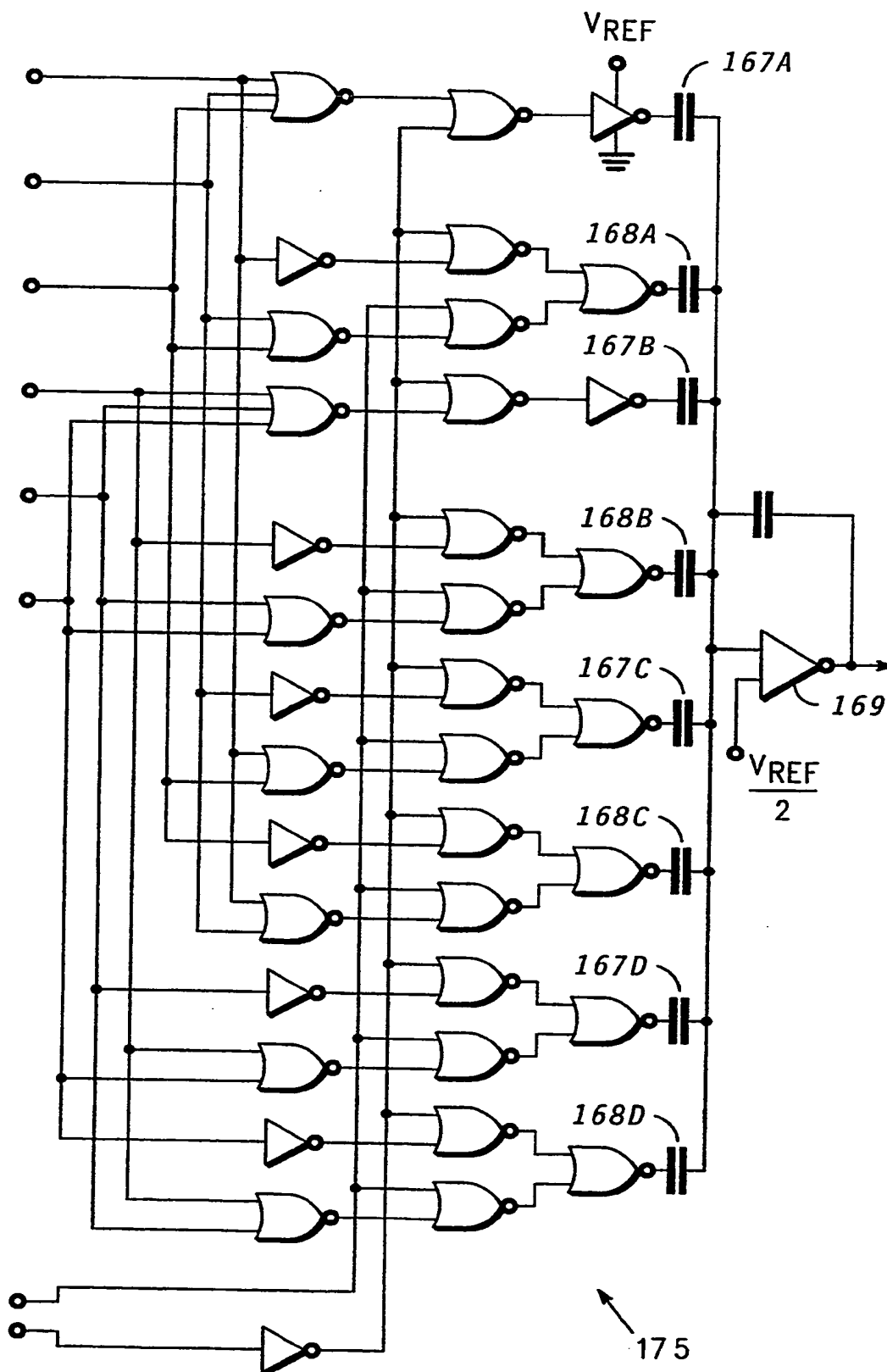


FIG. 19

**FIG. 20**

702 042/2

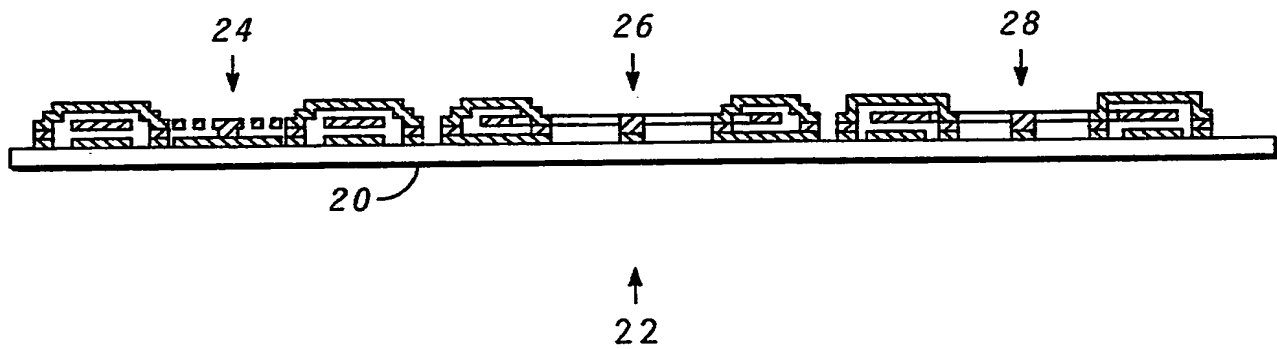


FIG. 21